

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局(43) 国際公開日  
2004 年11 月11 日 (11.11.2004)

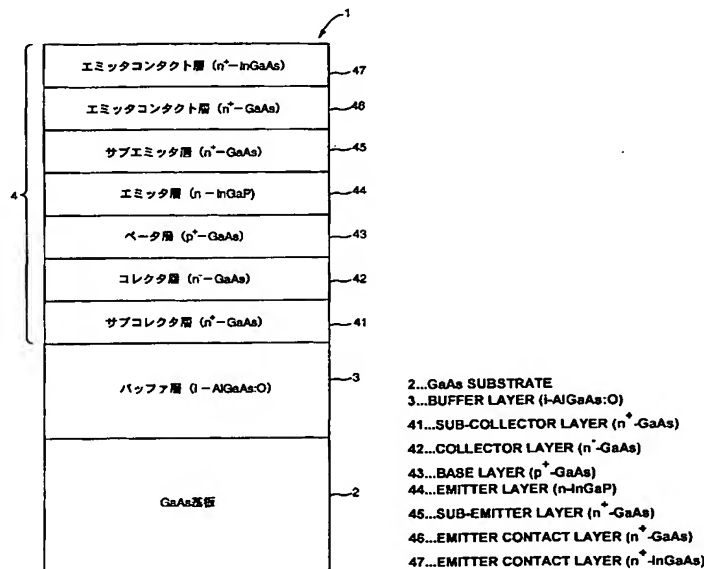
PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/097924 A1

- (51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01L 21/331, 29/737, 29/205 LTD.) [JP/JP]; 〒1048260 東京都中央区新川二丁目27番1号 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005016
- (22) 国際出願日: 2004 年4 月7 日 (07.04.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2003-124374 2003 年4 月28 日 (28.04.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 住友化学工業株式会社 (SUMITOMO CHEMICAL COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒5418550 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka (JP). 住化エピソリューション株式会社 (SUMIKA EPI SOLUTION COMPANY, LTD.) [JP/JP]; 〒1048260 東京都中央区新川二丁目27番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山田 永 (YAMADA, Hisashi) [JP/JP]; 〒2990241 千葉県袖ヶ浦市代宿98-608 Chiba (JP). 長田 剛規 (OSADA, Takenori) [JP/JP]; 〒2990125 千葉県市原市有秋台西1-9-331 Chiba (JP). 福原 昇 (FUKUHARA, Noboru) [JP/JP]; 〒3050035 茨城県つくば市松代3-9-10 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 浅村 皓, 外 (ASAMURA, Kiyoshi et al.); 〒1000004 東京都千代田区大手町2丁目2番1号 新大手町ビル331 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, [続葉有]

(54) Title: COMPOUND SEMICONDUCTOR EPITAXIAL SUBSTRATE

(54) 発明の名称: 化合物半導体エピタキシャル基板



(57) Abstract: A compound semiconductor epitaxial substrate comprising a substrate, and a sub-collector layer, a collector layer, a base layer, an emitter layer, and a contact layer formed in the order mentioned on the substrate, wherein a layer containing oxygen is formed between the substrate and the sub-collector layer.

(57) 要約: 基板、及び該基板上に形成された、サブコレクタ層、コレクタ層、ベース層、エミッタ層、及びコンタクト層をこの順序で含んでなる化合物半導体エピタキシャル基板において、前記基板と前記サブコレクタ層との間に酸素を含む層を有する上記化合物半導体エピタキシャル基板。



ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## 化合物半導体エピタキシャル基板

## 5 技術分野

本発明は、化合物半導体エピタキシャル基板に関し、特に、ヘテロ接合バイポーラトランジスタの製造用として好適な化合物半導体エピタキシャル基板に関するものである。

## 背景技術

- 10 ヘテロ接合バイポーラトランジスタ（以下、HBTと称することがある）は、エミッタ注入効率を高めるためにエミッタ層にベース層よりもバンドギャップの大きい物質を用いて、エミッターベース接合をヘテロ接合としたバイポーラトランジスタであり、マイクロ波帯以上の周波数領域で使用する半導体素子として好適である。
- 15 例えばGaAs系HBTの場合、一般には半絶縁性GaAs基板上に有機金属気相成長法（MOCVD法）を用いて、 $n^+$ -GaAs層（サブコレクタ層）、 $n$ -GaAs層（コレクタ層）、 $p$ -GaAs層（ベース層）、 $n$ -AlGaAs層又は $n$ -InGaP層（エミッタ層）、 $n$ -GaAs層（サブエミッタ層）を次々に結晶成長させることにより、エミッターベース接合であるpn接合がヘ
- 20 テロ接合の構造となっている化合物半導体エピタキシャル基板を形成し、これを用いてHBTが製造されている。このほか、InP基板を用いたHBT用の化合物半導体エピタキシャル基板も広く用いられている。

図3は、従来における一般的なGaAs系HBTの構造を模式的に示す図である。HBT100においては、半絶縁性のGaAs基板101上に $n^+$ -GaAsから成るサブコレクタ層102、 $n$ -GaAsから成るコレクタ層103、 $p$ -GaAsから成るベース層104、 $n$ -InGaP又は $n$ -AlGaAsから成るエミッタ層105及び $n^+$ -GaAsから成るサブエミッタ層106、 $n^+$ -InGaAsから成るエミッタコンタクト層107が、この順序でMOCVD法等の適宜の気相成長法を用いて、半導体薄膜結晶層として形成されている。サ

ブコレクタ層 102 上にはコレクタ電極 108 が、ベース層 104 上にはベース電極 109 が、そしてエミッタコンタクト層 107 上にはエミッタ電極 110 がそれぞれ形成されている。

このように形成される HBT においては、その電流増幅率  $\beta$  は、

5 
$$\beta = I_c / I_b = (I_n - I_r) / (I_p + I_s + I_r)$$

で表される。ここで、 $I_c$  はコレクタ電流、 $I_b$  はベース電流を示し、 $I_n$  はエミッタからベースへの電子注入電流、 $I_p$  はベースからエミッタへの正孔注入電流、 $I_s$  はエミッタ/ベース界面再結合電流、及び  $I_r$  はベース内での再結合電流を示す。

- 10 したがって、電流増幅率  $\beta$  を大きくするには、上式より、ベース内での再結合電流  $I_r$  を低減させる必要がある。ベース内での再結合電流はベース層の結晶性により大きく影響されるが、それ以外にも、サブコレクタ層の結晶性、更には成長に使用する基板の結晶性によっても大きく影響を受ける。これらの結晶性が低下するにつれ電流増幅率  $\beta$  も低下してしまう。

- 15 このため、基板の転位密度によって基板上に形成される HBT 機能層の電流増幅率  $\beta$  が影響を受けることとなり、同一の製造プロセスを適用しても使用する基板種によって HBT の電気的特性にばらつきが生じるという問題が生じる。この問題を解決するため、従来、基板上にバッファ層を設ける方法が提案されている。例えば GaAs 系の基板の場合、GaAs 若しくは AlGaAs 格子構造、又は
- 20 GaAs / AlGaAs 超格子構造をバッファ層内に設け、これにより基板内に存在する欠陥が基板上に形成されるエピタキシャル層に伝播するのを防ぐようにした構成が提案されている。

- しかし、上述した格子構造や超格子構造をバッファ層に設ける構成では、基板内の欠陥がその上に形成されるエピタキシャル層に伝播するのを十分に抑制する
- 25 ことができないためか、使用する基板の種類によって電流増幅率特性が依然としてばらつく。そのため、基板のロットによる振れ、結晶性等に依存せず製造上安定した電気的特性を得ることができる化合物半導体エピタキシャル基板が望まれている。また、基板内の欠陥に影響されずに電流増幅率特性の良好なデバイスを製造できるようにすることも望まれている。

## 発明の開示

本発明の目的は、従来技術における上述の問題点を解決することができるようにした化合物半導体エピタキシャル基板を提案することにある。

- 上記課題を解決するために、本発明では、基板上に、バッファ層、サブコレクタ層、コレクタ層、ベース層、及びエミッタ層が形成されている化合物半導体エピタキシャル基板において、基板とサブコレクタ層との間に酸素を含む層を設け、この酸素を含む層により基板に存在する欠陥の伝播を抑制する。これにより、HBTの電流増幅率特性のばらつきを改善することができ、HBT特性を向上させることができる。また、基板種に依存しない安定したデバイス特性を得ることができる化合物半導体エピタキシャル基板が提供される。

- 本発明の第一の態様によれば、基板、及び該基板上に形成されたサブコレクタ層、コレクタ層、ベース層、エミッタ層、及びコンタクト層をこの順序で含んで成る化合物半導体エピタキシャル基板において、前記基板と前記サブコレクタ層との間に酸素を含む層を有する上記化合物半導体エピタキシャル基板が提供される。

本発明の第二の態様によれば、上記第一の態様において、前記酸素を含む層が、 $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 層である化合物半導体エピタキシャル基板が提供される。

- 本発明の第三の態様によれば、上記第二の態様において、前記酸素を含む層の酸素濃度が  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上である化合物半導体エピタキシャル基板が提供される。

本発明の第四の態様によれば、上記第二の態様において、前記酸素を含む層の酸素濃度が  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  以下である化合物半導体エピタキシャル基板が提供される。

- 図面の簡単な説明

図1は、本発明による化合物半導体エピタキシャル基板の一実施形態を模式的に示す層構造図である。

図2は、図1に示す化合物半導体エピタキシャル基板を製造するのに使用される気相成長半導体製造装置の要部を概略的に示す図である。

図3は、従来における一般的なGaAs系HBTの層構造を模式的に示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照して本発明の実施の形態の一例につき詳細に説明する。

- 5 図1は、本発明による実施の形態の一例を模式的に示す層構造図である。この図には、GaAs系HBTの製造用の薄膜結晶ウェーハとして用いられる化合物半導体エピタキシャル基板が示されている。

- 図1に示す化合物半導体エピタキシャル基板1の構造は次の通りである。化合物半導体エピタキシャル基板1は半絶縁性のGaAs単結晶から成るGaAs基板2（図1では（001）面）上にMOCVD法を用いて複数の半導体薄膜結晶成長層を次々と積層させて構成されている。なお、本発明による化合物半導体エピタキシャル基板を作製するための方法は、本実施の形態で用いたMOCVD法に限定されるものではなく、液相エピタキシャル成長法、分子線エピタキシャル法、化学ビームエピタキシャル法、原子層エピタキシャル法等を用いることもできる。
- 10 15

- GaAs基板2の上には、酸素を含むバッファ層3が形成されている。バッファ層3は、一般式 $Al_xGa_{1-x}As$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）で示される化合物半導体単結晶層として、本実施の態様ではMOCVD法により形成されている。本実施の形態では、バッファ層3のAl組成値は0.3である。そしてバッファ層3の酸素濃度は原子濃度で約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ である。バッファ層3への酸素のドーピング方法は、どのような方法であってもよい。例えば、水素や不活性ガスによって希釈された酸素ガスをバッファ層3の成膜時に反応炉内に供給する方法、あるいはその成長前に予めオゾン処理によってGaAs基板2上に酸化膜を形成した後にバッファ層3を成長させる方法を用いてもよい。また、酸素のドーピング原料としては、酸素ガスの他に、例えばエーテル類、窒素酸化物、アルコール類、二酸化炭素、一酸化炭素等が挙げられるが、これらに限定されるものではなく、酸素を結晶中に取り込むことが可能な酸素をもつ物質ならばいずれも使用できる。
- 20 25

HBT機能層4は酸素を含むAlGaAs層としてのバッファ層3の上に形成

されている。該バッファ層 3 の上に、サブコレクタ層 4 1 として働く  $n^+-GaAs$  層及びコレクタ層 4 2 として働く  $n^-GaAs$  層が、化合物半導体エピタキシャル成長結晶層として、順次、所定の厚さに形成されている。そして、コレクタ層 4 2 の上にベース層 4 3 として働く  $p^+-GaAs$  層が同じく化合物半導体エピタキシャル成長結晶層として形成されている。ベース層 4 3 の上にはエミッタ層 4 4 として働く  $n-InGaP$  層が、エミッタ層 4 4 の上には  $n^+-GaAs$  層がサブエミッタ層 4 5 として、 $n^+-GaAs$  層及び  $n^+-InGaAs$  層がそれぞれエミッタコンタクト層 4 6、4 7 として形成されている。上記 HBT 機能層 4 は、これらの層 4 1 ~ 4 7 を総称するものである。

10     なお、酸素を含む  $AlGaAs$  層のみがバッファ層である必要はなく、例えば  $GaAs$  基板 2 とサブコレクタ層 4 1 との間に複数のバッファ層が形成されている場合は、複数の層中、酸素を含む  $GaAs$  層、酸素を含む  $AlGaAs$  層、酸素がプレーナ添加された層等のうち少なくとも 1 層が形成されていれば、それらをバッファ層 3 とみなすことができる。

15     上述した各層を MOCVD 法によるエピタキシャル成長半導体薄膜結晶層として形成するための方法について詳しく説明する。

図 2 には、図 1 に示す化合物半導体エピタキシャル基板 1 を MOCVD 法により製造するために使用される気相成長半導体製造装置 10 の要部が概略的に示されている。気相成長半導体製造装置 10 は、図示しない原料供給系統からの原料ガスが原料供給ライン 11 を介して供給される反応器 12 を備えている。反応器 12 内には  $GaAs$  基板 2 を載せて加熱するためのサセプタ 13 が設けられている。本実施の形態では、サセプタ 13 は多角柱体でその表面には  $GaAs$  基板 2 が複数枚取り付けられており、サセプタ 13 を回転装置 14 によって回転させることができる公知の構成となっている。サセプタ 13 の内部には、符号 15 で示されるサセプタ 13 を加熱するための赤外線ランプが備えられている。赤外線ランプ 15 に加熱用電源 16 から加熱用の電流を流すことにより  $GaAs$  基板 2 を所要の成長温度に加熱することができる。この加熱により、原料供給ライン 11 を介して反応器 12 に供給される原料ガスが  $GaAs$  基板 2 上で熱分解し、 $GaAs$  基板 2 上に所望の化合物半導体薄膜結晶を気相成長させることができるよう

になっている。使用済みのガスは排気ポート 12A から外部に排出され、排ガス処理装置に送られる。

ここで、GaAs 基板として用いられるのは半絶縁性 GaAs 単結晶基板であり、LEC (Liquid Encapsulated Czochralski) 法、VB (Vertical Bridgeman) 法、VGF (Vertical Gradient Freezing) 法等で製造された GaAs 基板が好適である。いずれの方法で製造された場合であっても、1つの結晶学的面方位から  $0.05^\circ \sim 10^\circ$  程度の傾きをもった基板を用意するのが好ましいが、これに限定されるものではない。

上述の如く用意した GaAs 単結晶基板の表面を、脱脂洗浄、エッチング、水洗、乾燥処理した後、この GaAs 単結晶基板を反応器 12 内のサセプタ 13 上に GaAs 基板 2 として載せる。そして、反応炉 12 内を高純度水素で充分置換した後加熱を開始する。反応炉を適度な温度に安定させたところで、キャリアガスとして水素を用い、5 族元素の原料としてアルシン、3 族元素の原料として、トリメチルガリウム (TMG) 及びトリメチルアルミニウム (TMA)、酸素原料としてエーテルを用い、640°C で酸素を添加した AlGaAs 層を GaAs 基板 2 上に 30 nm の厚みに成長させてバッファ層 3 を形成する。

この酸素を添加したバッファ層 3 上に、次いでサブコレクタ層 41 及びコレクタ層 42 を 640°C の成長温度で成長させる。更に、コレクタ層 42 上に、ベース層 43、エミッタ層 44、及びサブエミッタ層 45 を 620°C の成長温度で成長させ、サブエミッタ層 45 上にエミッタコンタクト層 46 及び 47 を形成する。

化合物半導体エピタキシャル基板 1 において、GaAs 基板 2 とサブコレクタ層 41 との間に、酸素を含む AlGaAs 層であるバッファ層 3 を酸素を含む層として設けたので、GaAs 基板 2 上に各化合物半導体単結晶薄膜層を MOCVD 法を用いて順次積層する場合に、GaAs 基板 2 内に存在する転位等の欠陥がサブコレクタ層 41 に伝播するのが酸素を含む層であるバッファ層 3 により有効に抑えられる。

バッファ層 3 に含まれる酸素により GaAs 基板 2 中の欠陥の伝播が抑制される理由は次の通りであると考えられる。酸素は電子親和力が大きいので電氣的にトラップを引き付けるので、バッファ層 3 の成長時に GaAs 基板 2 から受け継



がれた転位等の欠陥が拡散されるのを有効に抑えることができる。また、酸素はイオン半径が小さいので、これにより酸素を含む層では酸素のまわりに局所歪が生じ、欠陥をトラップしやすいので、バッファ層3の成長時にGaAs基板2から受け継がれた転位等の欠陥が拡散されるのを有効に抑えることができる。

- 5     この結果、バッファ層3内においてGaAs基板2から受け継がれた欠陥の多くはバッファ層3内で終端してしまい、HBT機能層4の形成時にGaAs基板2内の欠陥の影響を極めて小さくすることができ、ベース層43の結晶性を著しく良好なものとすることができる。この結果、ベース層内での再結合電流を小さくすることができ、酸素を含まない従来のバッファ層を用いた場合と比べ、HBTの電流増幅率の振れの大幅な改善を図ることができ、HBT特性を向上し得る。
- 10    また、GaAs基板2内に転位等の欠陥があってもこれがHBT機能層4内に受け継がれるのを阻止できるので、GaAs基板2の基板種に依存しない良好かつ安定なデバイス特性を実現でき、歩留りの向上にも役立つ。

- 15    上記実施の形態では、化合物半導体エピタキシャル基板1をMOCVD法によって作製する場合について説明したが、本発明はこの方法による場合に限定されるものではなく、他の適宜の方法を用いることもできる。例えば、分子線エピタキシー法(MBE法)等の各種気相成長法を用いることもできる。また、バッファ層3の形成時にAlGaAsに酸素を添加するための原料としてエーテルを用いたが、酸素添加のための原料はエーテルに限定されず、酸素を結晶に取り込む
- 20    ことができる原料であれば、前述した他の原料でもよく、それらを単独又は併用して使用することができる。また、従来では、GaAs基板をエッチングすることにより自然酸化膜を除去した後これを使用していたが、本発明においては、エッチングすることなく、故意に自然酸化膜を酸素源として用い、バッファ層3内に酸素を取り込ませることもできる。

- 25    バッファ層3の $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) のAl組成値 $x$ が大きい程、酸素を取り込む量が増大するので、Al組成値を大きくする程、GaAs基板2の欠陥の影響を低減させることができ、ベース層43の結晶性を良好なものとするることができる。しかし、Al組成値が大きすぎると、AlGaAsが酸化されやすく不安定になる。したがって、Al組成値 $x$ は $0.1 < x < 0.8$ の範囲が

好ましく、より好ましくは、 $0.2 \leq x \leq 0.7$ である。

また、本発明においては、GaAs基板の代わりにInP基板を用いることもできる。GaAs基板の代わりにInP基板を使用したHBT用化合物半導体エ  
ピタキシャル基板の場合には、 $\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y \leq 1$ ) 層を用いるこ  
5 とができる。なかでもInP基板に格子整合する $\text{In}_{0.52}\text{Al}_{0.48}\text{As}$ 層  
を使用することが好ましい。

$\text{In}_y\text{Al}_{1-y}\text{As}$ 層から成るバッファ層に酸素を添加することにより、図  
1に示す実施の形態の場合と同様の作用及び効果を得ることができる。この場合  
においても、酸素を含むInAlAs層は必ずしもバッファ層である必要はなく、  
10 InP基板とその上に形成されるサブコレクタ層との間に適宜の形態で酸素を含  
む層が形成されていればよい。この場合の酸素濃度等は前記と略同じである。

バッファ層3の酸素濃度の範囲は、通常 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上、好ましく  
は $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上、より好ましくは $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上である。  
酸素濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 未満では、本発明の奏する効果が低下する傾向  
15 にある。一方、酸素が多すぎると、バッファ層3の上に成長するエピタキシャル  
層の表面状態を悪化させるので、酸素濃度の上限は、好ましくは $1 \times 10^{21}$   
 $\text{ cm}^{-3}$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

以下、実施例及び比較例により本発明を更に具体的に説明するが、本発明はこ  
れらにより限定されるものではない。

## 20 実施例1

図1に示す構造の化合物半導体エピタキシャル基板を次のようにして作製した。  
欠陥密度が $5000 \text{ 個}/\text{ cm}^2$ のGaAs基板を用意し、このGaAs基板の上  
に $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ のバッファ層を30nm成長させた。このとき、酸素  
供給源としてエーテルを用い、バッファ層の酸素濃度を $1 \times 10^{19}$   
25  $\text{ cm}^{-3}$ とした。このバッファ層の上にHBT機能層をMOCVD法により形成  
した。

なお、各層の厚み、In組成等は以下の通りであった。エミッタコンタクト層  
47は $n^+$ -InGaAs層から成り、In組成が0.5、膜厚が50nm、キ  
ャリア濃度が $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であった。エミッタコンタクト層46は

- $n^+$ -InGaAs 層から成り、In 組成がサブエミッタ層 45 の境界では 0、エミッタコンタクト層 47 の境界では 0.5 と連続的に変化しており、膜厚が 50 nm、キャリア濃度が  $2.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  であった。サブエミッタ層 45 は  $n^+$ -GaAs 層から成り、膜厚が 100 nm、キャリア濃度が  $3.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であった。エミッタ層 44 は  $n$ -InGaP 層から成り、In 組成が 0.48、膜厚が 30 nm、キャリア濃度が  $3.0 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  であった。ベース層 43 は  $p^+$ -GaAs 層から成り、膜厚が 80 nm、キャリア濃度が  $4.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  であった。コレクタ層 42 は  $n^-$ -GaAs 層から成り、膜厚が 700 nm、キャリア濃度が  $5.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  であった。
- 10 サブコレクタ層 41 は  $n^+$ -GaAs 層から成り、膜厚が 500 nm、キャリア濃度が  $3.0 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  であった。

- これにより得られた化合物半導体エピタキシャル基板を用いて HBT 素子を製作した。エミッタサイズは  $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$  とした。この HBT 素子の電流増幅率  $\beta$  を測定したところ 141 であった。本実施例では、コレクタ電流を
- 15  $1 \text{ kA} / \text{cm}^2$  で流したときのコレクタ電流／ベース電流を電流増幅率  $\beta$  とした。
- 実施例 2

使用した GaAs 基板が欠陥密度  $3000 \sim 4000 \text{ 個} / \text{cm}^2$  であることを除き、実施例 1 の場合と同様にして HBT 素子を作製し、その電流増幅率  $\beta$  を測定したところ 141 であった。

## 20 実施例 3

使用した GaAs 基板が欠陥密度  $3000 \sim 4000 \text{ 個} / \text{cm}^2$  で、自然酸化膜の形成が抑制されたものであることを除き、実施例 1 の場合と同様にして HBT 素子を作製し、その電流増幅率  $\beta$  を測定したところ 141 であった。

## 比較例 1

- 25 実施例 1 に用いた GaAs 基板と基板種が同一の基板を用い、該基板の上に酸素を含まない AlGaAs から成るバッファ層を 30 nm 成長させ、その上に実施例 1 の場合と同様にして、HBT 機能層を形成した化合物半導体エピタキシャル基板を作製し、HBT 素子を作製した。この HBT 素子の電流増幅率  $\beta$  を測定したところ 128 であった。

## 比較例 2

実施例 2 に用いた GaAs 基板と基板種が同一の基板を用い、該基板の上に酸素を含まない AlGaAs から成るバッファ層を 30 nm 成長させ、その上に実施例 2 の場合と同様にして、HBT 機能層を形成した化合物半導体エピタキシャル基板を作製し、HBT 素子を作製した。この HBT 素子の電流増幅率  $\beta$  を測定したところ 126 であった。

## 比較例 3

実施例 3 に用いた GaAs 基板と基板種が同一の基板を用い、該基板の上に酸素を含まない AlGaAs から成るバッファ層を 30 nm 成長させ、その上に実施例 3 の場合と同様にして、HBT 機能層を形成した化合物半導体エピタキシャル基板を作製し、HBT 素子を作製した。この HBT 素子の電流増幅率  $\beta$  を測定したところ 117 であった。

実施例 1～3 及び比較例 1～3 の各結果から、バッファ層が酸素を含まない場合、電流増幅率は低く、また使用する基板によって様々な値となった。このことは、基板の結晶性によってデバイス特性が不安定になることを示している。基板の結晶性を表すパラメータのうち、基板の欠陥密度が最も電流増幅率に影響を及ぼしているものと考えられる。酸素を含む層を形成した場合には、いずれの基板を使用した場合にも、電流増幅率は大きくなり、かつ基板の種類に依存しない結果となった。このことは、酸素を含む層が、基板に存在する欠陥がエピタキシャル層に伝播するのを抑制する役割を果たしており、その結果ベース層の結晶性が向上し、電流増幅率が大きく改善されたものと考えられる。

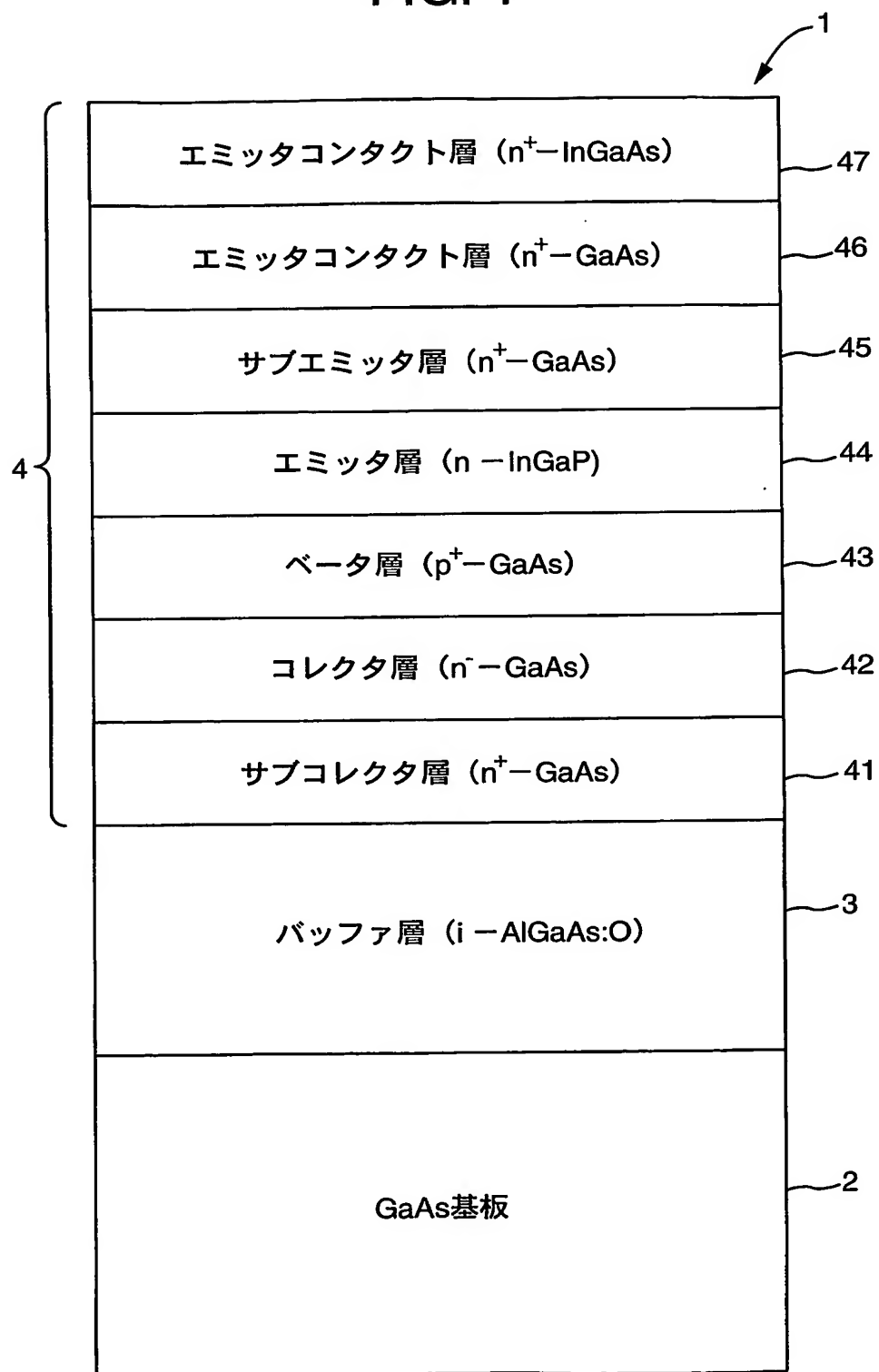
## 産業上の利用可能性

本発明によれば、基板とサブコレクタ層の間に酸素を含む層を形成することにより、基板に存在する欠陥の伝播を抑制し、基板の種類に依存せずに良好かつ安定した HBT 特性を得ることができる。また、欠陥伝播の抑制によりその電流増幅率を大きくすることができる。

## 請求の範囲

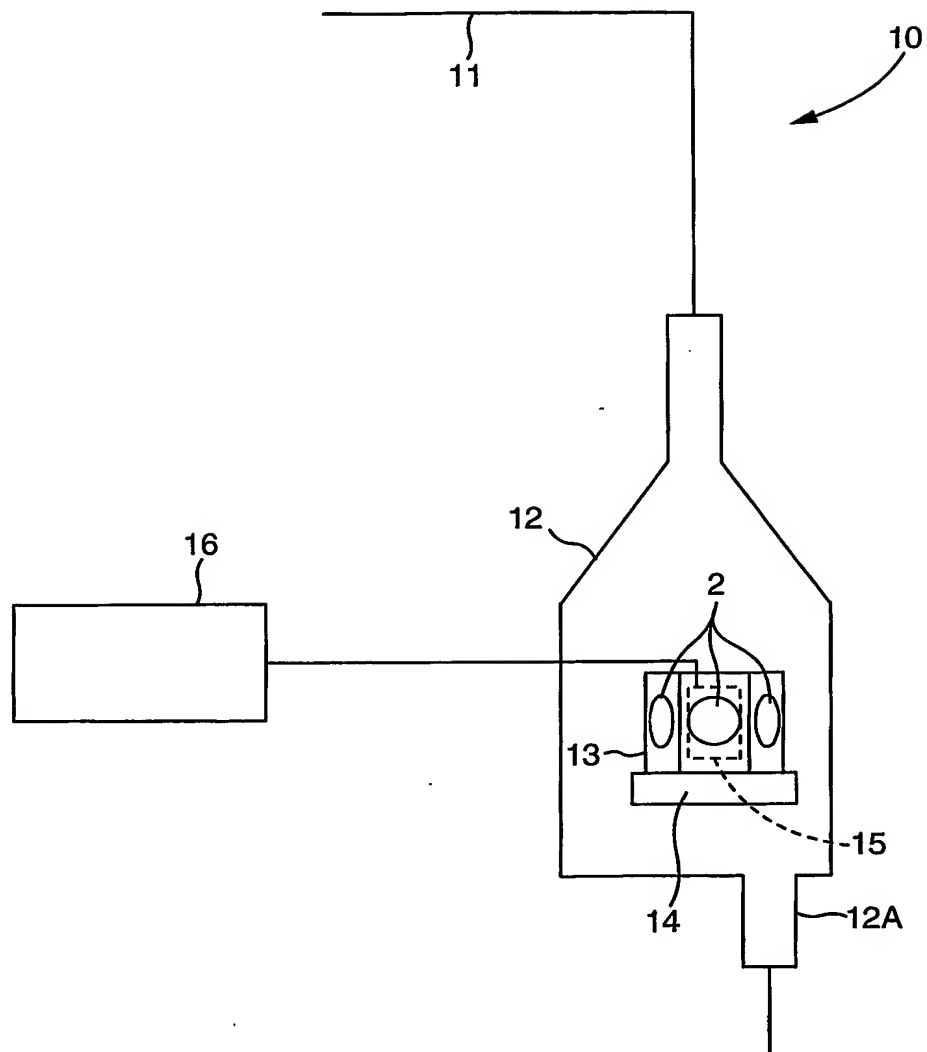
1. 基板、及び該基板上に形成された、サブコレクタ層、コレクタ層、ベース層、エミッタ層、及びコンタクト層をこの順序で含んでなる化合物半導体エピタキシャル基板において、前記基板と前記サブコレクタ層との間に酸素を含む層
- 5 を有する上記化合物半導体エピタキシャル基板。
2. 前記酸素を含む層が、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 層である請求項 1 記載の化合物半導体エピタキシャル基板。
3. 前記酸素を含む層の酸素濃度が  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上である請求項 2 記載の化合物半導体エピタキシャル基板。
- 10 4. 前記酸素を含む層の酸素濃度が  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  以上、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$  以下である請求項 2 記載の化合物半導体エピタキシャル基板。

FIG. 1



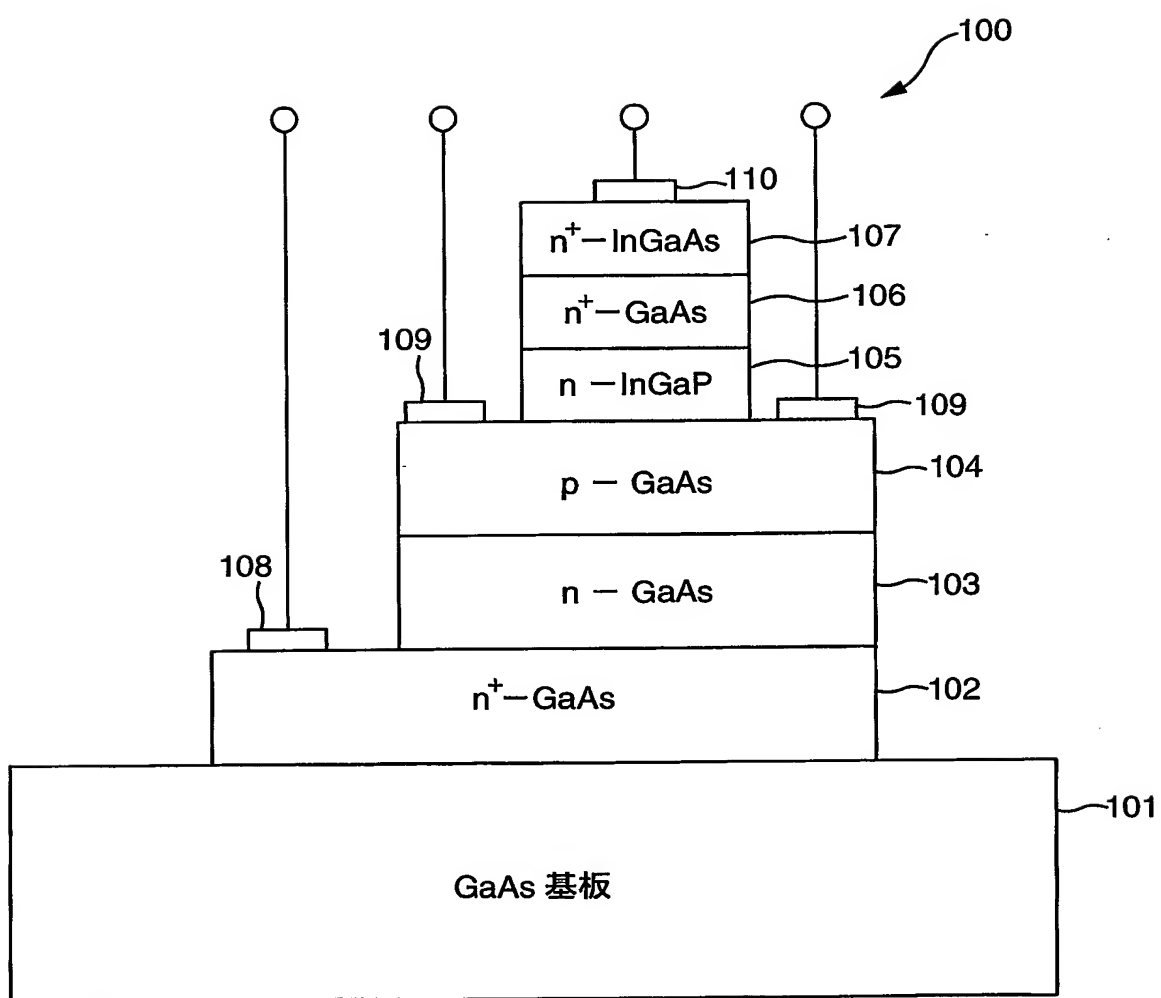
2 / 3

FIG. 2



3 / 3

FIG. 3





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005016

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> H01L21/331, H01L29/737, H01L29/205		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> H01L21/331, H01L29/737, H01L29/205		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-25922 A (Hitachi Cable, Ltd.), 25 January, 2002 (25.01.02), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-4
Y	JP 2002-280545 A (Sumitomo Chemical Co., Ltd.), 27 September, 2002 (27.09.02), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1-4
Y	JP 2000-315692 A (Hitachi Cable, Ltd.), 14 November, 2000 (14.11.00), Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)	1-4
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 28 May, 2004 (28.05.04)		Date of mailing of the international search report 15 June, 2004 (15.06.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L21/331, H01L29/737, H01L29/205

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L21/331, H01L29/737, H01L29/205

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2002-25922 A (日立電線株式会社) 2002.01.25, 全文, 第1-4図 (ファミリーなし)	1-4
Y	J P 2002-280545 A (住友化学工業株式会社) 2002.09.27, 全文, 第1図 (ファミリーなし)	1-4
Y	J P 2000-315692 A (日立電線株式会社) 2000.11.14, 全文, 第1-8図 (ファミリーなし)	1-4

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

28.05.2004

国際調査報告の発送日

15.6.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

洲 真悟

4 L

2933

電話番号 03-3581-1101 内線 3496